

УДК 55.16.20; 621.98.044.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МАССОПЕРЕНОСА С УЧЕТОМ КРИТЕРИЯ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА АЛЮМИНИЕМ

¹Мартынов С. В., Верхотуров А. Д., ²Коневцов Л. А.,
³Коваленко С. В., ¹Козырь А. В.

¹Амурский государственный университет, г. Благовещенск

²Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН, г. Хабаровск

³Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск

Известно, что Ti-сплавы обладают сравнительно высокой удельной прочностью, жёсткостью, а также коррозионной стойкостью. Эти свойства определяют использование Ti-сплавов в авиакосмической технике, судостроении, других отраслях современного машиностроения [1-2]. Однако их высокая химическая активность при температурах 450-600°C, сравнительно низкая износостойкость и жаростойкость побуждают использовать поверхностное упрочнение для более широкого и эффективного применения материала.

Проведённое исследование формирования легированного слоя (ЛС) на поверхности титанового сплава BT9 методом электроискрового легирования (ЭИЛ) с использованием анода из алюминия (Al/BT9) [3] показало, что этот материал в качестве анода является перспективным и образует с титаном ряд жаростойких интерметаллидов. В работе [4] в качестве материала анода, используемого для ЭИЛ титана, также был выбран Al. Как показывают авторы этих работ, величина электрической эрозии электродов зависит от энергии разряда и определяет эрозию анода, количество перенесённого на катод материала.

Целью настоящей работы являлось изучение процесса переноса материала на Ti-сплав легирующим электродом-инструментом из Al для определения оптимальных условий ЭИЛ с использованием критерия теплового воздействия.

В качестве материала подложки использовался титановый сплав BT18, материала анода – технический алюминий марки АТ. ЭИЛ выполнялось на промышленных установках “ЭФИ-46А”, “ЭФИ 25М” на воздухе. Выбор электрических режимов ЭИЛ позволял проследить формирование ЛС в диапазоне: $J_{к.з.} = 2,6-125 \text{ А}$, $U_{х.х.} = 15-193 \text{ В}$, $E=0,03-6 \text{ Дж}$. Для выявления закономерностей формирования ЛС изучали кинетику массопереноса в зависимости от различной длительности времени от 1 до 18 мин при ЭИЛ образцов единичной площади 1 см^2 . Для оценки влияния тепловой нагрузки, силы тока, напряжения, величины энергии при ЭИЛ на формирование ЛС, использовали критерий теплового воздействия “R” (А/Дж), который определяли как отношение силы тока короткого замыкания ($J_{к.з.}$, А), отнесённый к величине энергии “E” (Дж). Параметры варьировались в зависимости от $J_{к.з.}(A)$ и $U_{х.х.}(B)$. Чем больше значение “R”, и меньше значение “E”, тем меньше влияние тепловых нагрузок на электроды [5].

Из представленных результатов кинетики массопереноса при упрочнении сплава BT18 алюминием (рис. 1) видно, что эрозия материала анода и привеса катода изменяется в зависимости от времени ЭИЛ и энергетического режима в общем случае в соответствии с “правилом Лазаренко”. Формирование ЛС при различных режимах и длительности ЭИЛ характеризовалось зависимостями: а) с повышением времени обработки наблюдалось уменьшение веса катода, затем повышение; б) при повышении длительности ЭИЛ и веса катода с определённого момента его вес начинает уменьшаться; в) с повышением времени обработки вес катода непрерывно повышается; г) при ЭИЛ вес анода непрерывно уменьшается.

Показано, что изменение массы катода при ЭИЛ Al в большей степени зависит от критерия “R”, чем от времени обработки. Так, уже после 2-3 проходов электрода-инструмента на режиме с критерием “R” малых тепловых воздействий, появляются микроучастки разрушения ЛС, количество которых с увеличением времени обработки изменяется в связи с вновь поступающей жидкой фазой с анода, а при времени обработки 2-3 мин – хрупкое разрушение, отслаивание или выкрашивание структуры ЛС, хотя общий привес образцов катода при этом возрастает.

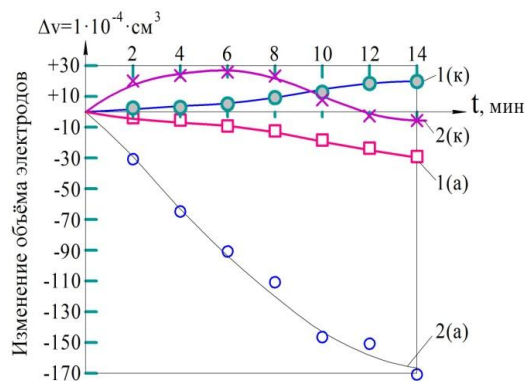


Рис. 1. Изменение объема электродов (Δv) от времени ЭИЛ Al/VT18 и параметра “R”. Кривые 1: $R=33$, А/Дж ($E=0,12$ Дж); кривые 2: $R=1,5$ А/Дж ($E=3$ Дж) анода (а) и катода (к).

Напротив, при режимах с критерием “R” повышенных тепловых воздействий обработки, количество участков разрушения превышает число участков “залечивания” и происходит стремительное разрушение ЛС, в результате которого вес катода становится ниже первоначального. Размеры контактных пятен электродов в исследованных поверхностях подложек после ЭИЛ на режиме с критерием “R” повышенных тепловых воздействий меньше по величине, чем при обработке на “мягком” режиме с критерием “R” малых тепловых воздействий, но их глубина значительно больше и степень образования микротрещин, соответственно, выше.

Установленные закономерности формирования ЛС при ЭИЛ Ti-сплавов позволяют осуществлять выбор оптимальных режимов обработки для получения жаростойких покрытий. При использовании небольших значений энергии в импульсе и больших токов короткого замыкания ($J_{к.з.} > 6$ А) происходит перенос вещества с анода на катод преимущественно в жидкой фазе, что способствует лучшим условиям формирования ЛС в связи со значительно меньшими напряжениями в поверхностных слоях электродов.

Библиографический список

1. Муравьев В. И., Бахматов П. В., Долотов Б. И., др. Обеспечение надёжности конструкций из титановых сплавов [Текст]/ В. И. Муравьев, П. В. Бахматов, Б. И. Долотов. М: «Эком». 2009. 752 с.
2. Верхотуров, А. Д., Подчерняева, И. А., Панашенко, В. М., Коневцов, Л. А. Электроискровое легирование титана и его сплавов металлами и композитными материалами [Текст]/ А. Д. Верхотуров, И. А. Подчерняева, В. М. Панашенко, Л. А. Коневцов// ред. член-корр. Буренин А. А. Комсомольск-на-Амуре: ИМиМ ДВО РАН, 2014. 320 с.
3. Верхотуров, А. Д., Рогозинская, А. А., Тимофеева, И. И. Формирование упрочнённого слоя при электроискровом легировании сталей и титановых сплавов [Текст]/ А. Д. Верхотуров, А. А. Рогозинская, И. И. Тимофеева// Киев: Общество “Знание” УССР Металлургия. 1979. 28 с.